

부순모래 치환율별 목표슬럼프 값 고정에 따른 화학혼화제의 특성에 관한 연구

A Study on the Chemical Admixture According to Target Slump Value by Crushed Sand Replacement Rate

류 현 기* 조 명 근**

Ryu, Hyun-Gi Cho, Myeong-Ken

Abstract

With an increased use of alternative aggregate due to exhaustion of quality aggregate resources, the amount of used crushed aggregates have been increased and as a result, development of admixture materials has also been improved and its amount of use is increasing from day to day in order to secure quality in concrete. Accordingly, the purpose of this study is to make concrete of good quality by using chemical admixture developed in this study by replacement rate of fine aggregate. At first, susceptibility, compressive strength ratio and length change ratio in both fresh and hardened concrete were evaluated according to corresponding regulation. As for high performance related regulation, APC No.3 and PC series were going to rule, and as for AE agent regulation, replacement ratio of fine aggregate of high performance chemical admixture was 10:0 and other chemical admixture met quality regulation for AE agent.

키워드 : 부순모래, 치환율, 목표슬럼프, 화학혼화제, 단위수량

Keywords : Crush Sand, Replacement Ratio, Target Slump, Chemical Admixture, Unit Waters

1. 서 론

최근 신도시의 건설 등 대규모 건설공사에서 다량의 콘크리트가 사용되어져 양호한 천연골재 자원이 점차 고갈되어짐에 따라 레미콘과 같은 콘크리트 제조 산업에서는 양질의 천연골재 자원을 확보하는데 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이러한 천연골재 자원의 고갈현상을 해소하기 위한 대책으로는 천연산의 강골재, 육지골재, 산골재, 바다골재 등을 채가름이나 세척 및 마모 등의 가공 등으로 활용하는 방안과 암석을 분쇄하여 쇄석골재의 입형 및 형상을 개량하여 채가름 하여 활용하는 방안 및 건설폐기물과 산업부산물 등의 폐자원을 가공하여 재활용하는 방안등이 있다.

국내 레미콘사의 부순모래 사용은 조사 참여업체 624개 업체 중 303개 업체가 사용하여 48.6%의 비율을 차지하였고, 44.3%의 업체가 사용하지 않았으며, 7.1% 업체가 유동적인 것으로 조사되었다.¹⁾

조사결과를 토대로 부순모래를 사용하는 업체는 부산 경남, 서울 경기, 대구 경북 지역으로 레미콘 조사업체 중 절반이상

의 업체가 부순모래를 사용하고 있는 것으로 나타났으며, 강원, 대전 충남, 충북, 광주 전남, 제주 순으로 사용비율이 작게 나타나¹⁾ 지역에 따라 부순모래의 사용여부에 차이가 나타남을 알 수 있는데, 건설물량이 증가 여부에 따라 부순모래를 사용하는 업체의 비율은 더욱 증가할 것으로 판단된다.

부순골재의 경우 입도불량과 입형등이 각이 지고 모가나므로 콘크리트의 품질변화에 많은 영향을 미치게 되므로 콘크리트의 성능을 향상시킬 목적으로 혼화제를 사용하는데 대표적인 혼화제로는 AE제, 감수제, AE감수제 및 고성능 AE감수제 등이 있다. 이러한 혼화제는 감수효과에 비례해 사용량이 많아 응결 지연 현상이 일어나거나 강도 저하 현상, 감수효과를 요하는 콘크리트를 제조하는데 제한이 있는 등의 문제점이 발생하는 경우도 있고, 또한 단위수량은 굳지 않은 콘크리트의 유동성에 크게 영향을 미치며, 경화 콘크리트에서는 강도 및 건조수축, 길이변화 및 중성화 등의 내구성과도 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다.⁵⁾

그러므로 본 연구에서는 부순골재의 사용량이 증대됨에 따른 부순모래 치환율별로 목표슬럼프 값 고정에 따른 화학혼화제를 사용하여 양질의 강모래를 이용한 콘크리트의 성능보다 단위수량의 저감효과와 부순모래 사용에 따른 화학혼화제의

* 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

** 충주대학교 건축공학과 석사과정

특성을 분석하고자함이 본 연구의 목적이다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표1과 같고, 배합사항은 표2와 같다. 먼저 W/C는 65%, 목표 슬럼프는 180±15mm(PC용의 혼화제는 플로우 550±50mm) 목표 공기량은 4.5±1.5%에 만족하는 실험을 계획하고, 배합사항으로는 강모래(River Sand:R.S로칭함)와 부순모래(Crush Sand:C.S로칭함)의 배합비는 10:0, 7:3, 5:5, 3:7, 0:10과 같이 5수준으로 하고, 실험에 사용한 화학혼화제는 멜라민, APC, PC계를 사용하여 Plain의 단위수량은 목표슬럼프치를 만족키 위해 KS의 단위수량 최대치를 상회하였는데, 이는 개발된 화학혼화제 첨가량에 따른 단위수량의 감소율을 파악키 위하여 각 배합에 적용토록 하였다.

표 1. 실험 요인 및 수준

실험요인		수준		
배합	W/C(%)	1	65	
	목표슬럼프(mm)	1	180±15	
	PC계:플로우(mm)	1	550±50	
	목표공기량(%)	1	4.5±1.5	
	단위수량(kg/m³)	1	목표 슬럼프의 고정	
	사항	잔골재율(%)	1	50
혼화제 종류 및 사용량		멜라민계(2종류)	0.5%	
		APC계(2종류)	0.7%	
		PC계(2종류)	1.0%	
R.S: C.S		5	10:0, 7:3, 5:5, 3:7, 0:10	
실험 사항	굳지않은 콘크리트	3	· 슬럼프(감수율) · 공기량 · 단위용적질량	
		경화 콘크리트	3	· 압축강도 (재령 3, 7, 28일) · 인장강도 (재령 3, 7, 28일) · 길이 변화율 (재령 1,3,7,14,21,28,35일)

* R.S (River Sand): 강모래, C.S (Crush Sand): 부순모래

실험사항으로는 굳지 않은 콘크리트에서는 목표슬럼프를 만족토록 하여 감수율, 공기량, 단위용적질량을 측정하도록 하고, 경화 콘크리트에서는 강도 특성을 분석하기 위해 계획된 재령에서 압축 및 인장강도를 측정하고, 개발된 화학혼화제의 종류별로 잔골재 치환율 변화에 따른 재령경과별 길이변화율을 측정하도록 계획 하였다.

표 2. 배합사항

W/C %	단위 수량 (kg/m³)	S/a (%)	RSCS	화학혼화제		질량배합(kg/m³)					
				종류	첨가량 (%)	C	RS	CS	G		
65	208	50	Plain			320	823	0	871		
	189		10:0	멜라민 NO.1 NO.2	0.5	320	0	871	871		
	178		7:3			320	246	610	871		
	176		5:5			320	411	436	871		
	173		3:7			320	576	261	871		
	169		0:10			320	823	0	871		
	192		10:0			320	0	871	871		
	181		7:3			320	246	610	871		
	179		5:5			320	411	436	871		
	177		3:7			320	576	261	871		
	181		0:10			320	823	0	871		
	175		10:0			APC NO.3 NO.4	0.7	320	0	871	871
	168		7:3					320	246	610	871
	169		5:5	320	411			436	871		
	167		3:7	320	576			261	871		
	170		0:10	320	823			0	871		
	177		10:0	320	0			871	871		
	173		7:3	320	246			610	871		
	172		5:5	320	411			436	871		
	173		3:7	320	576			261	871		
	173		0:10	320	823			0	871		
	171		10:0	PC NO.5 NO.6	1.0			320	0	871	871
	172		7:3					320	246	610	871
	160		5:5			320	411	436	871		
	166		3:7			320	576	261	871		
	159		0:10			320	823	0	871		
	181		10:0			320	0	871	871		
	149		7:3	320	246	610	871				
	144		5:5	320	411	436	871				
	149		3:7	320	576	261	871				
174	0:10	320	823	0	871						

* 멜라민계(NO.1, NO2), APC계(NO.3, NO4), PC계(NO.5, NO.6)

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서 시멘트는 국내산 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, 골재로써 잔골재는 충북 남한강산 강모래와 암석을 파쇄한 부순모래를 사용하고, 굵은 골재는 최대 치수 25mm인 부순굵은 골재를 사용토록 하였다. 이때 잔, 굵은 골재의 입도곡선은 그림1~2와 같고, 사용 재료의 물리적 성질은 표3~6과 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (g/cm ³)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,480	0.06	250	438	22.6	31.3	39.8

표 4. 골재의 물리적 성질

골재 종류	밀도 (g/cm ³)	조립률 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)	입형판정 실적률 (%)	0.08mm 통과량 (%)
부순 모래	2.70	3.17	0.43	1,532	61.0	-
강모래	2.55	3.01	2.15	1,681	63.0	3.24
굵은 골재	2.69	6.89	0.48	1,476	61.2	-

표 5. 혼화제의 특성 및 용도

혼화제 종류	주성분 및 분자식	특성	용도
멜라민	멜라민 -C ₃ H ₆ N ₆ -	-낮은 WC로 고유동성 콘크리트 타설 -고감수로 인한 시멘트 절감	-고층 타설시 원활한 작업성 -도로공상 터널의 라이닝 및 철골 구조물의 콘크리트 타설
APC	폴리카본산 에테르계+유기산 -COOH-COO(CH ₂ C HOR)nR-	-감수효과가 높아서 시멘트 절감효과 증대 -슬럼프를 기준으로 하는 고강도 콘크리트 적용에 적당	-재령 7일 강도를 중요시하는 현장 적용에 최적
PC	폴리카복살에테르 -RC ₂ H ₄ OC ₂ H ₄ On H(n=10)-	-낮은 W/C로 고강도 콘크리트 제조 -고감수로 인한 강도 증진	-고층 타설시 원활한 작업성 및 유동성 유지

표 6. 혼화제의 물리적 성질

혼화제 종류	색상 및 형태	PH(%)	밀도(g/cm ³)
멜라민	암갈색 액체	9.0±2(20°C)	1.240±0.03(20°C)
APC	연갈색 액체	7.0±2(20°C)	1.070±0.02(20°C)
PC	담황색 액체	8.0±2(20°C)	1.030±0.02(20°C)

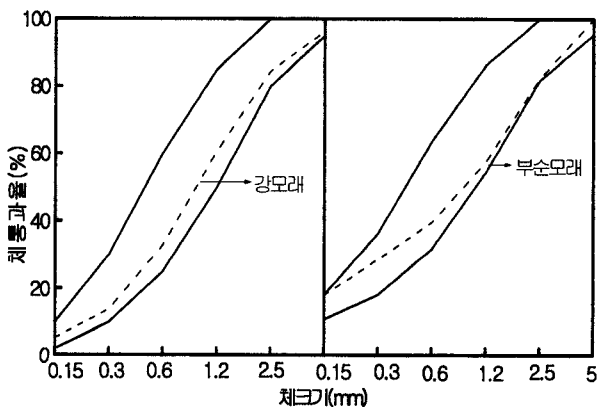


그림 1. 잔골재 종류에 따른 입도곡선

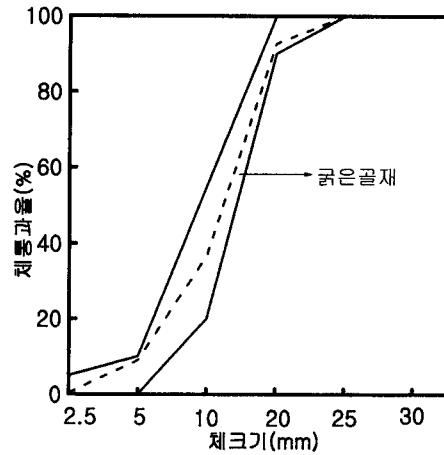


그림 2. 굵은골재 입도곡선

2.3 실험 방법

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 단위용적질량은 KS F 2402와 KS F 2409의 규정에 따라 실시하도록 하였다

경화 콘크리트의 특성으로 압축강도 및 인장강도는 ϕ 10×20(cm)공시체를 KS F 2403 규정에 따라 제작하여 계획된 재령에서 KS F 2405 및 2423 규정에 의거 측정토록 하고, 건조수축에 의한 길이변화율은 KS F2424의 다이얼게이지 방법으로 계획된 재령에서 측정하였다.

콘크리트용 화학혼화제로써의 성능 평가방법은 KS F 2560의 규정에 의거 실시하도록 하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트 특성

3.1.1 감수율

그림 3은 잔골재 치환율 변화에 따른 감수율을 나타낸 그래프이다.

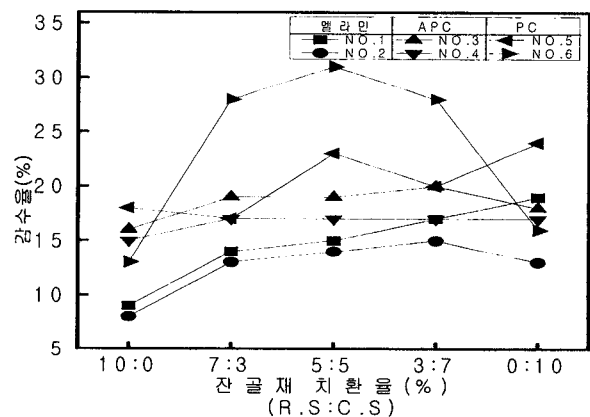


그림 3. 잔골재 치환율 변화에 따른 감수율

Plain의 단위수량에 대한 각 화학혼화제의 감수율은 부순모래의 치환율이 증가할수록 전반적으로 증가하였는데, NO4, 6의 화학혼화제에서만 잔골재 치환율 3:7, 0:10에서 감소하였다.

화학혼화제의 감수율 품질규정에의거 고성능AE감수제 감수율18%이상의 감수율을 나타낸 화학혼화제는 NO3, 5, 6이고, 멜라민계 화학혼화제의 잔골재 치환율 10:0에서만 AE제 감수율 품질규정인 6%이상에 만족하였고, 그 외의 화학혼화제에서는 AE감수제 감수율 10%이상의 감수율을 만족하였다.

이와 같은 단위수량 감수효과는 화학혼화제의 분산 및 계면활성작용 등으로 인한 감수 요인으로 분석된다.

3.1.2 공기량

그림 4는 잔골재 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다.

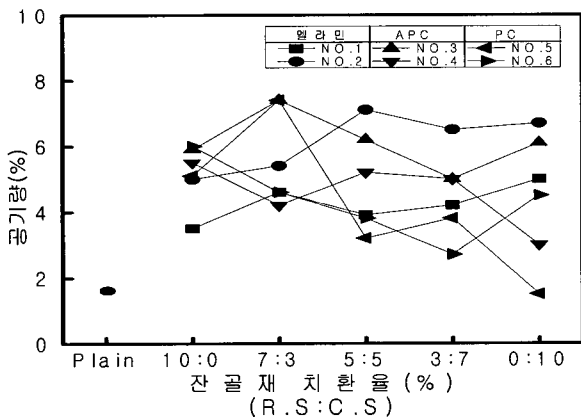


그림 4. 잔골재 치환율 변화에 따른 공기량

전반적으로 Plain보다 많은 공기량을 나타내고 있는데 PC계의 NO.5혼화제의 부순모래 100%치환율에서만 작게 나타났다.

화학혼화제 별로는 부순모래의 치환율이 증가할수록 멜라민계의 혼화제는 공기량이 증가하는 경향으로 나타났고, APC와 PC계의 화학혼화제는 NO.3와 NO.5는 7:3치환율에서 최대의 공기량 발휘 후 부순모래 치환율이 증가할수록 감소하는 경향으로 나타났다. NO.4와 NO.6의 혼화제는 강모래 100%사용시에 제일 큰 공기량을 나타내었다.

3.1.3 단위용적질량

그림 5는 잔골재 치환율 변화에 따른 단위용적질량을 나타낸 그래프이다.

단위용적질량은 공기량과 반비례적 관계이기 때문에 전반적으로 잔골재 치환율의 변화에 따른 단위용적질량은 공기량과 반대적 경향으로 나타내고 있고, APC계는NO.3의 10:0, 7:3 PC계는 NO.5의 7:3, NO.6의 10:0에서 Plain보다 작게 나타났다. 멜라민계의 화학혼화제를 사용한 NO.2의 경우는 모든

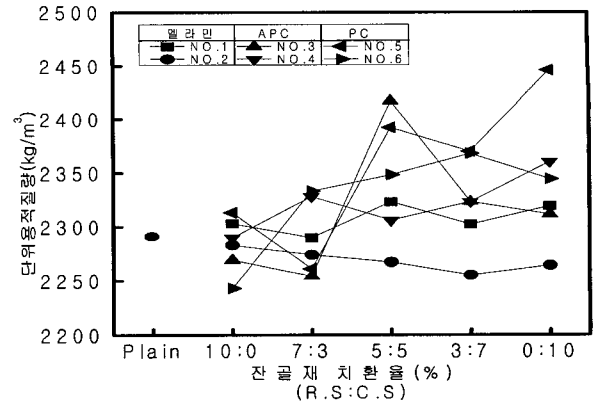


그림 5. 잔골재 치환율 변화에 따른 단위용적질량

잔골재 치환율에서 Plain보다 작게 나타내었다.

3.2 경화 콘크리트 특성

3.2.1 압축강도

그림 6은 재령경과에 따른 압축강도를 잔골재 치환율별로 나타낸 그래프이다.

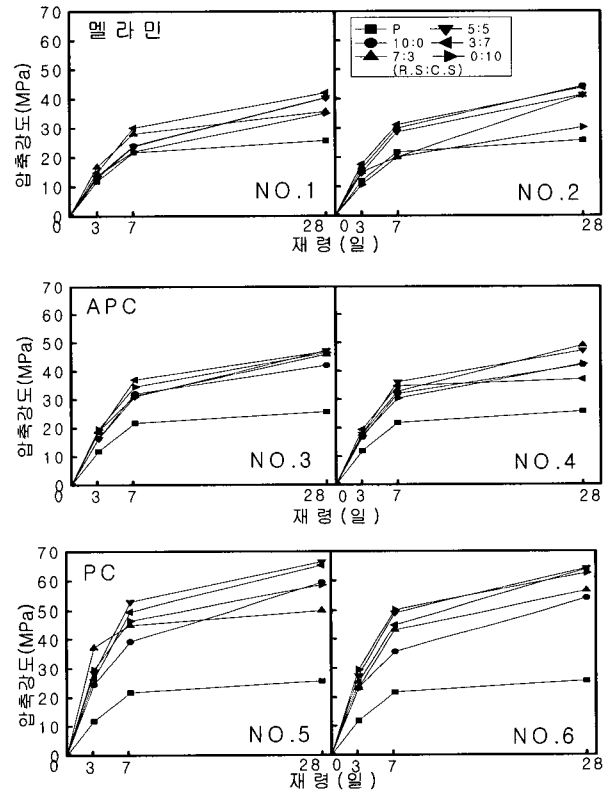


그림 6. 재령경과에 따른 잔골재 치환율별 압축강도

먼저 멜라민계 화학혼화제의 압축강도 발현율을 보면 재령3일에서는 Plain보다 2~3MPa의 미미한 강도증진을 보였다.

재령7일에서는 Plain보다 5~10MPa의 다소높은 강도증진을 보였으며, 부순모래 치환율 3:7에서 제일높은 강도증진을

나타내었다. 표준재령인 28일에는 잔골재 치환율 3:7에서 Plain보다 20MPa정도의 가장 많은 강도증진 경향을 나타내었고, 전반적으로 Plain보다 10~15MPa정도의 높은 강도증진 경향을 나타내었다.

APC계 화학혼화제의 경우에는 모든재령일에서 Plain보다 강도발현이 크게 나타났으며, 재령7일에서는 Plain보다10~15MPa정도로 초기강도 증진이 크게 나타났으며, 표준재령인 28일에서도 Plain보다 15~20MPa정도의 높은 강도증진 경향을 나타내었다.

PC계 화학혼화제의 압축강도 발현은 모든 재령에서 Plain보다 가장 큰 강도발현을 나타내었는데 초기재령3일에서 Plain보다12~20MPa정도 높은 강도발현을 나타내었다.

재령7일에서는 17~32MPa정도로 더 크게 발휘되었으며, 28일 표준재령에서는 Plain보다 23~35MPa정도로 제일 높은 강도 발현을 나타내었다.

전반적으로 화학혼화제 종류별로 잔골재 치환율 변화에 따른 강도 발현경향은 작게 나타나고 있으며, 잔골재 치환율 5:5, 3:7에서 제일 높은 강도 증진 경향을 나타내었다. 화학혼화제 별로는 PC계에서 제일 높은 강도 증진경향을 나타내었고, 다음으로 APC, 멜라민계 화학혼화제에서는 제일 작은 강도발현을 나타내었다.

3.2.2 인장강도

그림 7은 재령경과에 따른 인장강도를 잔골재 치환율별로 나타낸 그래프이다.

먼저 멜라민계 화학혼화제의 경우 초기 재령3, 7일에서는 2MPa내외 정도의 작은 강도발현을 나타내고 있으며, 표준재령 28일에서는 Plain의 강도 값 3.1MPa로 7:3과 5:5의 잔골재 치환율을 제외하고는 작은 강도 발현을 나타내었다.

APC계 화학혼화제의 경우 초기재령에서는 Plain에 비해 0.2~0.4MPa정도 높게 나타내고있고, 표준재령인 28일에서는 NO.3 잔골재 치환율 7:3만이 Plain보다 0.3MPa정도, NO.4에서는 잔골재 치환율 5:5, 7:3만이 0.3~0.4MPa정도로 약간 높게 나타났다.

PC계 화학혼화제에서는 전반적으로 모든 재령일에서 Plain보다 인장강도의 증가 경향을 나타내고 있는데 NO.5의 초기재령에서는 잔골재 치환율 5:5에서 Plain보다 1MPa정도 높게 나타났으며, 표준재령에서는 잔골재 치환율 7:3에서 3.8MPa로 가장 높은 강도발현을 보였고, NO.6에서는 재령7일의경우 잔골재 치환율 5:5에서 3.3MPa 표준재령일인 28일에서는 잔골재 치환율 5:5에서 4MPa정도로 가장 높은 강도 발현을 나타냈다.

전반적으로 압축강도와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 잔골재 치환율 5:5, 3:7에서 높은 인장 강도의 발현 경향을 나타내었다.

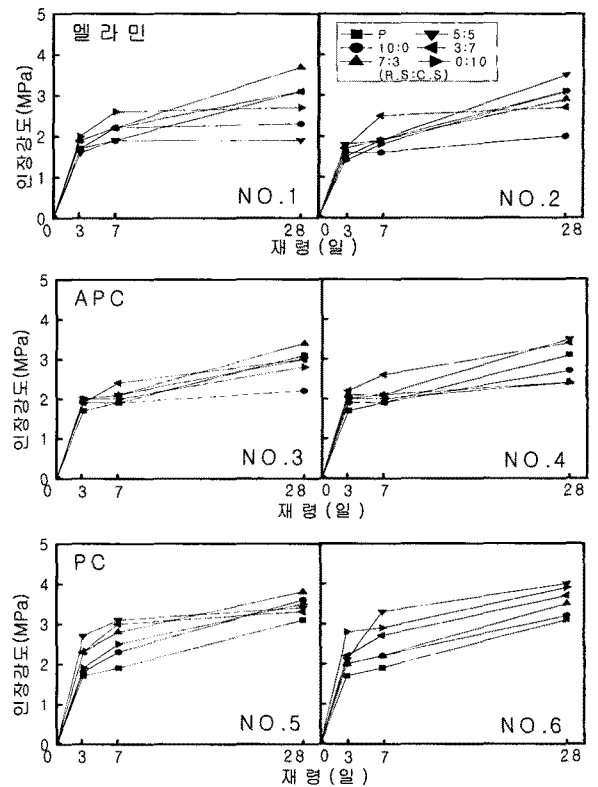


그림 7. 재령경과에 따른 잔골재 치환율별 인장강도

3.2.3 건조수축 길이변화율

그림 8은 재령경과에 따른 길이변화율을 잔골재 치환율 별로 나타낸 그래프이다.

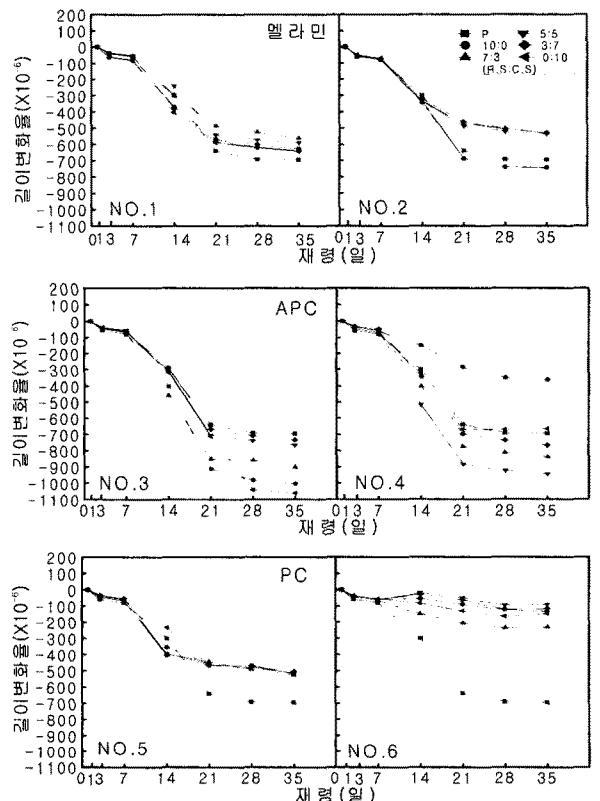


그림 8. 재령경과에 따른 잔골재 치환율별 길이변화

건조수축의 길이변화율은 수중양생 7일 기간 동안 에트링가이트 생성등에 기인하여 팽창하는 것으로 나타났고 기중양생 기간 동안에는 초기에 급격한 건조 수축이 발생하였으나 재령이 경과함에 따라 완만하게 수축하는 경향으로 나타났다.

먼저 멜라민계 화학혼화제의 NO.1에서는 Plain보다 적은 건조수축을 나타내고 있고 잔골재 치환율 7:3에서 가장 적은 건조수축을 보였고 NO.2에서는 잔골재 치환율 0:10, 10:0에서 Plain보다 큰 건조수축을 보였고 잔골재 치환율 7:3에서는 가장 적은 건조수축을 보였다.

APC계 화학혼화제의 경우 NO.3에서는 Plain보다 많은 건조수축을 나타냈는데 잔골재 치환율 0:10에서 가장 큰 건조수축을 나타내고 있고, NO.4에서는 잔골재 치환율 5:5에서 가장 많은 건조수축을 나타내었다.

PC계 화학혼화제 경우 NO.5에서는 Plain보다 적은 건조수축을 나타내고 있고, NO.6의 경우도 마찬가지로 Plain보다 적은 건조수축을 보이고 있으며, 잔골재 치환율 5:5의 경우에 미미한 건조수축을 보이고 있다.

멜라민, PC계의 화학혼화제는 Plain에 보다 건조수축 길이 변화율이 작게 나타났고, APC계의 화학혼화제에서는 Plain보다 큰 건조수축 길이변화율을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 부순모래의 치환율별 목표슬럼프치 고정애 따른 화학 혼화제를 이용하여 양질의 골재를 이용한 콘크리트의 요구성능보다 향상된 요구품질의 콘크리트를 제조하고자한 실험 연구결과는 다음과 같다.

1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 단위수량의 감수효과는 전반적으로 Plain보다 감소하였고, 강모래의 치환율이 감소함에 따라 상대적으로 부순모래의 사용량이 증가하더라도 단위수량이 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 화학혼화제의 분산성능 및 계면활성작용과 수용성의 성분 등으로 인한 감수효과에 기인된 것으로 사료된다.

공기량은 멜라민 및 PC계의 화학혼화제에서 잔골재 치환율 7:3과 0:10의 경우에만 약 0.5~1%정도 KS의 허용한도 범위를 벗어났고, 그 이외의 치환율에서는 KS의 허용한도 범위 내에 포함되는 경향을 나타내었고, APC계 화학혼화제에서는 잔골재 치환율 7:3을 제외하고는 KS의 허용한도 범위 내에 포함되는 경향을 나타내었다.

단위용적질량은 잔골재 치환율 변화에 따라 공기량과 반대의 경향으로 나타나고 있는데 APC계는 NO.3의 10:0, 7:3, PC계는 NO.5의 7:3, NO.6의 10:0,과 고성능의 NO.2만이

Plain보다 작게 나타났다.

2) 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 전반적으로 Plain보다 압축강도의 발현이 증진되었다.

멜라민계 화학혼화제에서는 초기재령인 3, 7일에서는 Plain보다 2~10MPa정도 강도증진을 보였고, 표준재령인 28일에서는 Plain보다 10~15MPa 강도증진을 나타내었는데 잔골재 치환율 3:7에서 현저한 강도증진을 나타내었다.

APC계 화학혼화제의 경우에는 초기재령인 3, 7일에서는 Plain보다 5~15MPa정도 강도증진을 보였고, 표준재령인 28일에서는 Plain보다 15~20MPa 강도증진을 나타내었으며, PC계 화학혼화제에서는 초기재령 3, 7일에서 Plain보다 12~32MPa정도 높은 강도발현을 나타내고, 28일 표준재령에서는 Plain보다 23~35MPa정도로 제일 높은 강도발현을 나타내었다.

전반적으로 혼화제 종류별로 잔골재 치환율 변화에 따른 강도발현 경향은 작은 차이를 나타내고 있으며, 잔골재 치환율 5:5, 3:7에서 제일 높은 강도 증진 경향을 나타내었다. 화학혼화제 별로는 PC계에서 제일 높은 강도 증진경향을 나타내었고, 다음으로 APC, 멜라민계 화학혼화제 순으로 나타났다.

인장강도 발현율은 전반적으로 압축강도와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 잔골재 치환율 5:5, 3:7에서 높은 인장 강도의 발현 경향을 나타내었다.

3) 건조수축 길이변화율은 메라민, PC계의 화학혼화제는 Plain에 보다 건조수축 길이변화율이 작게 나타났고, APC계의 화학혼화제에서는 Plain보다 길이변화율이 크게 나타났다.

이상의 화학혼화제를 사용한 실험 결과를 KS F 2560 「콘크리트용 화학혼화제」의 규정에 의거 감수율, 압축강도비, 길이변화비를 비교 분석하였다.

고성능 AE감수제의 품질규정에 만족하는 화학혼화제는 APC계의 NO.3와 PC계의 화학혼화제에서는 잔골재 치환율 10:0, 0:10을 제외하고 만족하는 것으로 나타났고, AE계의 품질규정에 만족하는 화학혼화제는 멜라민계 화학혼화제의 잔골재 치환율 10:0이고, APC, PC계의 화학혼화제에서는 AE 감수제의 품질규정에 모두 만족하였다.

참 고 문 헌

1. 개정 콘크리트 표준시방서 해설집, 한국콘크리트 학회편 2003. pp.95~122
2. 김광서외4인, 콘크리트의 단위수량 추정에 미치는 배합 및 혼화재 요인의 영향, 대한건축학회학술발표논문집, 2002
3. 김무한, 신한식, 김문한, 건축재료학, 2000.1
4. 김을용외 4인, 메타카올린 콘크리트의 특성에 미치는 단위수량변화의 영향에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 학술발표대회논문집 Vol.17 No.2, p.p. 585~590, 2005
5. 김정길외3인, 폴리카본산계 고성능감수제를 사용한 고유동 페이스트의 유동물성, 대한건축학회학술발표논문집, p.p. 475~480, 2005
6. 대한건축학회, 건축공사표준시방서, 1999. pp. 107~118
7. 정일영, 한천구, 정상진, 건축재료실험, 1995
8. 정현수 외4명, 건축재료학, 세진사, 2002. pp. 53~69
9. 한국산업표준협회, KS규격집, 1995
10. 한국콘크리트학회, 유동화 콘크리트, 기문당, 2004. 12
11. 한국콘크리트학회, 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997
12. 한국콘크리트학회, 특수콘크리트공학, 기문당, 2004. 12
13. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 1997
14. 한국콘크리트학회, 부순모래 및 부순모래 콘크리트, 기문당, 1998
15. 한천구, 콘크리트 특성과 배합설계, 1998
16. 한천구, 황인선, 콘크리트의 내구특성에 미치는 단위수량의 영향, 淸州大學校 産業科學研究, Vol.20, No.2, 2003
17. 한천구, 황인성, 잔골재 및 혼화재료 요인이 콘크리트의 블리딩에 미치는 영향, 대한건축학회논문집, 제18권 6호, 2002.6
18. 한천구외3명, 콘크리트의 초기 강도발현에 미치는 혼화재료의 영향, 대한건축학회학술발표논문집, Vol.19 No.9, p.p. 95~102, 2003
19. Tarun R. Naik, Shiw S. sin호. Mathew P. Tharaniyil, and Robert B. Wendorf, Application of Foundry By-Product Materials in Manufacture of cincrete and Masonry Product. ACI Materials Joural. January-Feburart 1996. pp. 44~51

(접수 2008. 7. 3, 심사 2008. 7. 30, 게재확정 2008. 8. 6)